

การศึกษาลักษณะของคลื่นผิวน้ำที่ส่งผลต่อสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของ
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ใต้น้ำ

The Effect of Surface Waves on Power Conversion Efficiency of Underwater Solar Panels

จักรวาล นิลทา¹ และอักรินทร์ อินทนินเวศน์^{2*}

Jakrawut Ninta¹ and Akarin Intaniwet^{2*}

Received: August 29, 2022; Revised: December 13, 2022; Accepted: December 13, 2022

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของคลื่นผิวน้ำที่ส่งผลต่อสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาลักษณะคลื่นที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ดีที่สุดที่ระดับความลึก 1 เซนติเมตร จากนั้นทำการวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาพแวดล้อม และแสงอาทิตย์จริง ผลการทดสอบที่ได้ถูกนำไปสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการผลิตไฟฟ้ารายปีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใต้น้ำ โดยใช้ตัวแปรสำคัญในการทำนายการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รายปี ได้แก่ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการทดลองพบว่า คลื่นผิวน้ำที่มีความสูง 0.3 เซนติเมตร สามารถทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงถึง 24.06 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกที่มีประสิทธิภาพเท่ากับ 12.78 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำผลการทดลองไปทำนายการผลิตไฟฟ้ารายปีจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีกำลังการติดตั้ง 1 เมกะวัตต์ พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำสร้างรายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้าปีละ 9,804,636 บาท/ปี ซึ่งมากกว่าระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกประมาณ 227,059.74 บาท/ปี

คำสำคัญ : แผงเซลล์แสงอาทิตย์ใต้น้ำ; คลื่นผิวน้ำ; ประสิทธิภาพ

¹ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

² หน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

¹ School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai

² Smart Energy and Environmental Research Unit, Maejo University, Chiang Mai

* Corresponding Author, Tel. 08 2626 7600, E - mail: a.intaniwet@hotmail.co.th

Abstract

This work reports the effect of surface waves on the power generation of solar panels. The experiments were carried out to determine the optimal wave characteristics for solar panels to generate maximum power when installed under water at the depth of 1 cm. Several electrical parameters were obtained under natural sunlight and ambient conditions for the comparison. The results were used to create a mathematical model which was used to predict the annual power generation of underwater solar panels. The key parameters employed in the prediction of the annual solar power generation included solar radiation, ambient and panel temperature. The results revealed that the solar panel installed underwater with surface wave height of 0.3 cm showed the highest power conversion efficiency of 24.06 %, compared to 12.78 % from the one installed on land. The annual power generation of an installed underwater solar panels with the surface wave height of 0.3 cm and capacity of 1 MW was estimated, by a mathematical model, to provide an yearly income of 9,804,636 THB, which was 227,059 THB higher than that from the on-ground installation system.

Keywords: Solar Photovoltaic Panel; Surface Waves; Efficiency

บทนำ

พลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทดแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิล โดยเทคโนโลยีพลังงานทางเลือกที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการนำมาผลิตไฟฟ้า คือ เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจัดเป็นเทคโนโลยีที่มีความง่ายในการติดตั้งใช้งาน และการบำรุงรักษา เป็นเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนสามารถเข้าถึงได้อย่างแพร่หลาย ไม่มีต้นทุนในส่วนของการแสงอาทิตย์ และมีระยะเวลาคืนทุนต่ำ แต่เทคโนโลยีนี้มีปัญหาที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้อย่างถาวร เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าต้องนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไปติดตั้งบริเวณกลางแจ้ง เพื่อให้แผงรับรังสีอาทิตย์และเข้าสู่กระบวนการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป ซึ่งกระบวนการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องรับรังสีอาทิตย์ตลอดเวลาทำให้อุณหภูมิของแผงสูงขึ้น ตามค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ [1] และทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ลดลง ส่งผลทำให้ กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าลดลง นอกจากนั้นยังมีปัญหาฝุ่นที่ตกกระทบหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานานเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ โดยฝุ่นจะทำให้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ผ่านหน้าแผงตกกระทบไปยังตัวเซลล์น้อยลงกว่าเดิม ทำให้กำลังไฟฟ้า ที่ผลิตได้น้อยลงไปด้วย สำหรับการการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นราบยังมีความจำเป็นต้องใช้พื้นที่ สำหรับการติดตั้ง โดยการติดตั้งทุก ๆ 1 กิโลเมตรจะต้องใช้พื้นที่เปล่าประมาณ 10 ตารางเมตร ซึ่งถ้าเป็น การติดตั้งบนหลังคาของอาคารก็จะเป็นการใช้พื้นที่ว่างเปล่าให้เกิดประโยชน์ แต่ถ้าบริเวณนั้นเป็นพื้นที่สำหรับการทำเกษตรกรรม หรือมีแหล่งน้ำตามธรรมชาติ การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่เหล่านั้นอาจจะทำให้เกิดประเด็นการใช้พื้นที่ที่ไม่เหมาะสมเกิดขึ้น

จากปัญหาดังกล่าวได้มีนักวิจัยทำการคิดค้นแนวทางแก้ปัญหาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการระบายความร้อนด้วยน้ำบริเวณหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [2] - [4] ผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิหน้าแผงลดลงไปสูงสุดร้อยละ 16 และมีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ร้อยละ 14 เมื่อเปรียบเทียบกับแผงที่ไม่ได้รับการระบายความร้อน นอกจากนั้นยังมีการทดลองติดตั้งแผง เซลล์แสงอาทิตย์ในน้ำคั้นและน้ำลึก [5] โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (a-Si) พบว่ากำลังการผลิตไฟฟ้า

ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใต้น้ำลึก (12 เซนติเมตร) มีค่าน้อยกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใต้น้ำตื้น (2 เซนติเมตร) โดยที่ประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ระดับน้ำตื้นและน้ำลึกอยู่ที่ร้อยละ 2.2 - 7.8 และร้อยละ 1.5 - 6.28 นอกจากนี้ยังมีการศึกษาสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) ที่จมอยู่ใต้น้ำ โดยทำการทดลองกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว [6] มีการวิเคราะห์เกี่ยวกับผลลัพธ์และการตรวจสอบและทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใต้น้ำ พบว่าน้ำสามารถดูดซับความเข้มแสงที่ไม่มีความจำเป็นต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าระดับความลึกที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใต้น้ำอยู่ที่ประมาณ 1 - 5 เซนติเมตร

จากวิธีการแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้สนใจศึกษาการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดตั้งใต้น้ำเพื่อลดปัญหาอุณหภูมิและฝุ่นที่เกิดขึ้นกับการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งหลังจากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงจุดบกพร่องในการทดสอบ เนื่องมาจากในสภาวะจริงอาจจะเกิดคลื่นบริเวณผิวน้ำที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใต้น้ำ จึงทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะศึกษาผลกระทบของคลื่นผิวน้ำที่ส่งผลในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำที่ระดับความลึก 1 เซนติเมตร จากผิวน้ำเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกและใต้น้ำ จากนั้นได้ทำการนำผลการทดสอบไปสร้างสมการทำนายการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 เมกะวัตต์ ที่ติดตั้งอยู่ใต้น้ำตามเงื่อนไขเดียวกันกับการทดสอบที่ดีที่สุดต่อไป

วิธีการดำเนินงานวิจัย

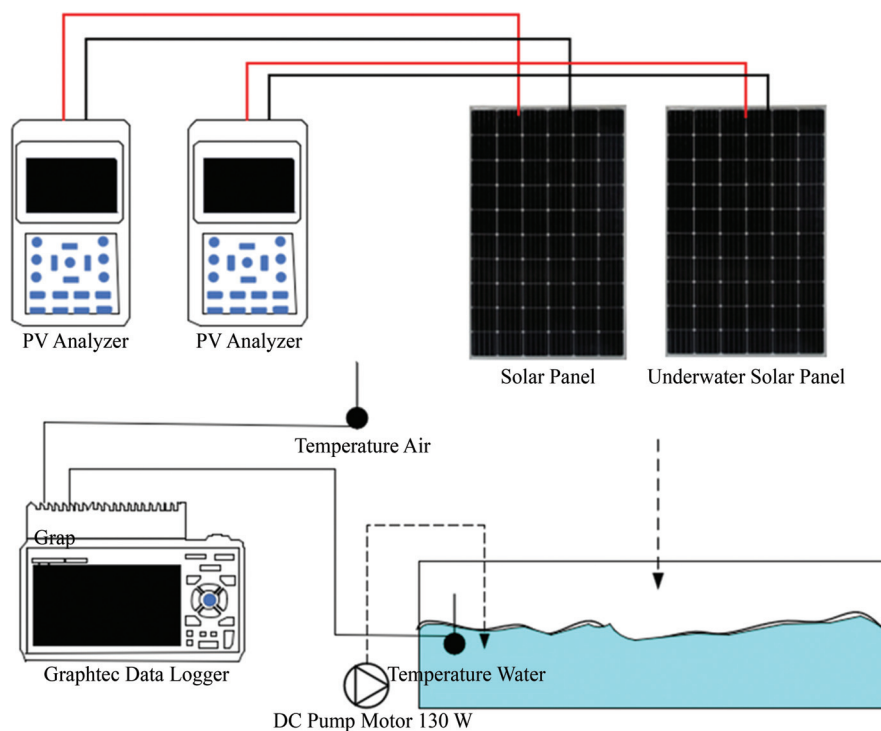
วิธีดำเนินการศึกษา

การทดสอบคลื่นผิวน้ำที่ส่งผลต่อสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำแบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ การศึกษาลักษณะของคลื่นผิวน้ำที่ส่งผลต่อสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำ และนำระดับคลื่นที่ดีที่สุดมาทำนายการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่คาดว่าจะผลิตได้ในตลอดทั้งปี เพื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบก โดยขั้นตอนการทดลองในแต่ละส่วนจะถูกอธิบายในหัวข้อย่อยดังต่อไปนี้

1. การศึกษาลักษณะของคลื่นผิวน้ำที่ส่งผลต่อสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำ

ทำการทดสอบโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon) ขนาด 100 วัตต์ V_{mp} 18.2 โวลต์ I_{mp} 5.49 แอมป์ V_{oc} 22.3 โวลต์ I_{sc} 5.82 แอมป์ NOCT 45 °C และมีพื้นที่ในการรับค่ารังสีอาทิตย์ 0.616 ตารางเมตร จำนวน 2 แผง ติดตั้งไว้ในบ่อผ้าใบขนาด $2.0 \times 3.0 \times 0.5$ ลูกบาศก์เมตร ที่ระดับความลึก 1 เซนติเมตร จำนวน 1 แผง และติดตั้งบนบก 1 แผง หลังจากนั้นทำการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar PV Analyzer, PROVA210, ค่าความคลาดเคลื่อน ± 1 %) กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแผงเพื่อบันทึกข้อมูลค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Thermocouple Type K, ค่าความคลาดเคลื่อน ± 2.2 °C) ใช้ในการวัดข้อมูลอุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิผิวน้ำ และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเครื่องวัดค่ารังสีอาทิตย์ (Apogee, ค่าความคลาดเคลื่อน ± 10 %) จะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เก็บข้อมูล 10 ช่อง (Graphtec 10 channel, ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.1 %) เพื่อทำการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ได้กล่าวมาข้างต้นทุก 5 นาที โดยเริ่มตั้งแต่เวลา 08.00 - 16.00 น. นอกจากนี้ทำการติดตั้งปั้มน้ำกระแสน้ำขนาด 130 วัตต์ เพื่อใช้ในการสร้างคลื่นกระแทกผิวน้ำจากด้านบนให้เกิดคลื่นผิวน้ำในอัตราการไหล 34.07 45.42 และ 56.78 ลิตรต่อวินาที เพื่อเป็นการจำลองคลื่นที่ผิวน้ำที่เกิดจากลมที่มีอัตราการไหลน้อยกว่า 2.6 เมตรต่อวินาที เนื่องจากลมคือองค์ประกอบสำคัญในการสร้างคลื่นผิวน้ำ และลมที่มีความเร็วน้อยกว่า 2.6 เมตรต่อวินาที จะสร้างคลื่นผิวน้ำที่มีความสูงไม่เกิน 7 เซนติเมตร [7] - [8] หลังจากทำการทดลองศึกษาการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวและทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง จะทำการวิเคราะห์

ผลตามค่าเฉลี่ยของข้อมูลการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุดโดยการเปรียบเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบก โดยวิเคราะห์จากค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบริเวณหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเลือกวันที่มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ใกล้เคียงกันมากที่สุด อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ค่าพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเมื่อสามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองในขั้นตอนแรกจะนำผลการทดลองที่ดีที่สุดไปสร้างสมการสำหรับการใช้ในการทำนายการผลิตไฟฟ้าตลอดทั้งปีในขั้นตอนที่ 2 ต่อไปโดยขั้นตอนการทดสอบจะอธิบายเป็นแผนภาพอย่างง่ายในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังอธิบายขั้นตอนการทดลอง

2. การทำนายการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี

ขั้นตอนการสร้างสมการการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับแผงที่ติดตั้งบนบกและได้นำมาใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำมาใช้ในการทำนายการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้นำในเงื่อนไขที่ดีที่สุดของการทดลองในขั้นตอนที่ 1 ซึ่งตัวแปรที่นำมาใช้ในการสร้างสมการ ได้แก่ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบริเวณหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกและได้นำ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกและได้นำ อุณหภูมิแวดล้อมตลอดทั้งวัน และกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรสำคัญในการทำนายการผลิตไฟฟ้าแล้ว จะทำการทำนายการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกและได้นำตลอดทั้งปี

ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ใช้เป็นตัวแทนของแต่ละเดือนใช้ข้อมูลจากโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์การผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ [9] ซึ่งข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่นำมาทำการทำนายการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นข้อมูลตัวแทนรายชั่วโมงของแต่ละเดือนในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแทนค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงในแต่ละเดือน

ตัวแทนค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายเดือน (วัตต์ต่อตารางเมตร)												
เวลา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
07.00 น.	179	231	244	237	266	354	387	380	316	191	108	130
08.00 น.	389	455	462	439	403	515	546	546	489	348	285	325
09.00 น.	601	675	678	642	553	649	675	678	630	478	469	527
10.00 น.	775	853	852	809	687	745	764	768	728	580	627	701
11.00 น.	879	953	952	910	770	797	807	811	778	662	730	813
12.00 น.	892	957	959	925	784	802	802	802	775	674	757	842
13.00 น.	813	864	870	851	727	759	748	742	721	616	703	781
14.00 น.	655	692	704	703	610	617	650	637	617	516	578	644
15.00 น.	450	473	492	508	456	545	514	492	473	397	407	456
16.00 น.	236	248	272	302	322	388	350	317	297	248	222	252
17.00 น.	47	53	81	119	175	212	168	125	101	80	54	67

ในส่วนของอุณหภูมิแวดล้อมที่ใช้ในการทำนายการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รายปี ผู้วิจัยเลือกใช้ข้อมูลอุณหภูมิแวดล้อมย้อนหลังรายปีของกรมอุตุนิยมวิทยาปี พ.ศ. 2561 [10] เพื่อใช้เป็นตัวแทนอุณหภูมิแวดล้อมสูงสุด และต่ำสุดของเดือนแต่ละเดือนใน 1 ปีในตารางที่ 2 และใช้สมการทำนายอุณหภูมิแวดล้อมในแต่ละชั่วโมงเพื่อเป็นตัวแทนอุณหภูมิที่จะนำไปใช้ในการทำนายอุณหภูมิแวดล้อมรายชั่วโมง [11] ในสมการที่ (1)

ตารางที่ 2 ตัวแทนอุณหภูมิแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุดรายปี

อุณหภูมิ (°C)	ตัวแทนอุณหภูมิแวดล้อมรายเดือน (วัตต์ต่อตารางเมตร)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
สูงสุด	30.3	35.5	35.5	38.5	36.5	39.5	35.2	33.0	34.8	35.5	33.0	29.0
ต่ำสุด	16.9	17.4	20.5	25.4	24.5	24.0	24.8	23.8	24.0	23.5	23.3	21.6

$$T_a = \frac{I}{2} \left[(T_{max} + T_{min}) + (T_{max} - T_{min}) \sin\left(\frac{2\pi}{24}(t-9)\right) \right] \quad (1)$$

เมื่อ

T_{max} คือ อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุดของเดือนที่ต้องการวิเคราะห์ (°C)
 T_{min} คือ อุณหภูมิแวดล้อมต่ำสุดของเดือนที่ต้องการวิเคราะห์ (°C)
 t คือ เวลาที่ต้องการพิจารณา (ชั่วโมง)

เมื่อทำการทราบข้อมูลอุณหภูมิแวดล้อมรายชั่วโมงแล้วจะสามารถคำนวณอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบก [12] ในเวลาเดียวกันได้ในสมการที่ (2)

$$T_P = T_a + \frac{(NOCT - 20)}{800} \times I_G \quad (2)$$

เมื่อ

T_a	คือ	อุณหภูมิแวดล้อมรายชั่วโมงที่คำนวณได้จากสมการที่ (1) ($^{\circ}\text{C}$)
$NOCT$	คือ	ค่าอุณหภูมิเซลล์ใช้งานที่อ้างอิงโดยการทดสอบ ($^{\circ}\text{C}$)
I_G	คือ	ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงที่ได้จากตารางที่ 1 (วัตต์ต่อตารางเมตร)

ในส่วนอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้น้ำที่มีน้ำเป็นปัจจัยหลักในการช่วยเรื่องการดูดซับ สะท้อนแสง และระบายความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงจำเป็นต้องคำนวณหาอุณหภูมิของน้ำตลอดทั้งวัน เพื่อนำผลการคำนวณอุณหภูมิไปใช้ในการหาอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้น้ำตลอดทั้งวัน ซึ่งการคำนวณอุณหภูมิ และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้น้ำจะใช้สมการที่ (3) และ (4) ในการคำนวณ

$$T_w = 2.5396 \times I_G^{-0.22105} \times T_a^{1.0744} \quad (3)$$

เมื่อ

T_w	คือ	อุณหภูมิของน้ำ ($^{\circ}\text{C}$)
I_G	คือ	ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงที่ได้จากตารางที่ 1 (วัตต์ต่อตารางเมตร)
T_a	คือ	อุณหภูมิแวดล้อมรายชั่วโมงที่คำนวณได้จากสมการที่ (1) ($^{\circ}\text{C}$)

$$T_{pw} = 0.015347 \times I_G^{0.50735} \times T_a^{-0.98435} \times T_w^{2.5216} \quad (4)$$

เมื่อ

T_{pw}	คือ	อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้น้ำ ($^{\circ}\text{C}$)
I_G	คือ	ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงที่ได้จากตารางที่ 1 (วัตต์ต่อตารางเมตร)
T_a	คือ	อุณหภูมิแวดล้อมรายชั่วโมงที่คำนวณได้จากสมการที่ (1) ($^{\circ}\text{C}$)
T_w	คือ	อุณหภูมิของน้ำ ($^{\circ}\text{C}$)

เมื่อทำการคำนวณตัวแทนข้อมูลอุณหภูมิแวดล้อม และข้อมูลตัวแทนอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งบนบกและได้น้ำได้จากการคำนวณในสมการที่ (1) - (4) แล้ว จะนำผลการคำนวณไปใช้ในการทำนาย กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกและได้น้ำตลอดทั้งปีในสมการที่ (5) และ (6) และ ทำการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายชั่วโมงในสมการที่ (7) หลังจากนั้นทำการคำนวณพลังงานไฟฟ้า ที่ผลิตได้ต่อวันในสมการที่ (8) และทำการคำนวณประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [13] ได้ในสมการที่ (9)

$$P_{max} = 0.22983 \times I_G^{0.8288} \times T_a^{0.00279} \times T_p^{0.01028} \times 10000 \quad (5)$$

เมื่อ

I_G	คือ	ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบก (วัตต์ต่อตารางเมตร)
T_a	คือ	อุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)
T_p	คือ	อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบก ($^{\circ}\text{C}$)

$$P_{max} = 0.1854 \times I_G^{0.93072} \times T_a^{-0.00067} \times T_p^{0.0543} \times 10000 \quad (6)$$

เมื่อ

- I_G คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำ, ($I_{G_{บนบก}} \times 0.5976$) (วัตต์ต่อตารางเมตร)
- T_a คือ อุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)
- T_p คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำ ($^{\circ}\text{C}$)

$$E = P \times t \quad (7)$$

เมื่อ

- P คือ กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกและใต้น้ำ (วัตต์)
- t คือ เวลาที่ใช้ในการทดลอง (ชั่วโมง)

$$E_{Daily} = \sum_{t=08.00}^{16.00} E_t \quad (8)$$

เมื่อ

- E_{Daily} คือ พลังงานรวมที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน (วัตต์ชั่วโมงต่อวัน)
- E_t คือ พลังงานรายชั่วโมงที่ผลิตได้ตลอดทั้งวัน (วัตต์ชั่วโมง)

$$\eta\% = \frac{P_{max}}{I_G \times A} \times 100 \quad (9)$$

เมื่อ

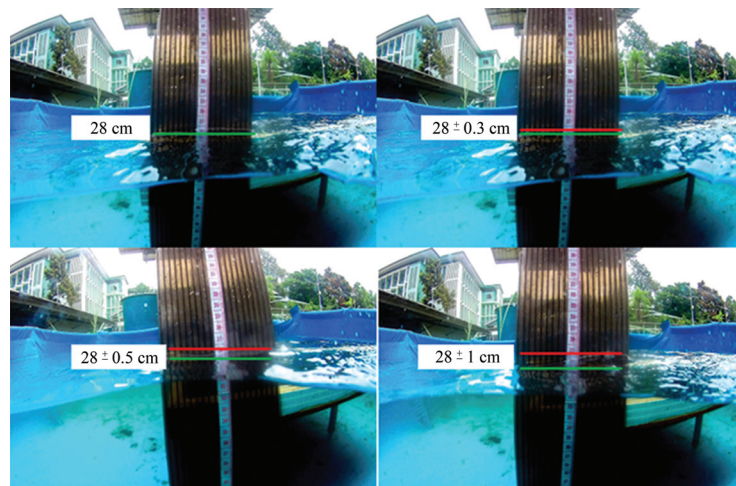
- P_{max} คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ จุดที่ต้องการพิจารณา (วัตต์)
- I_G คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

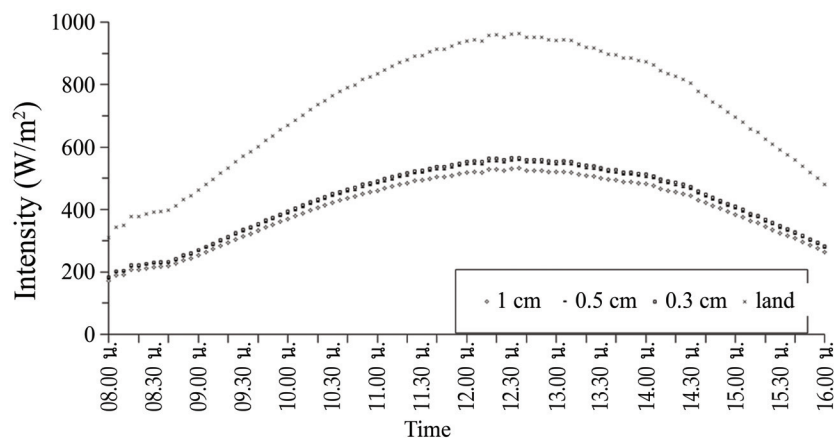
ผลการทดลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกและใต้น้ำจะทำการแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามเงื่อนไขการทดลองที่กล่าวมาก่อนหน้านี้คือ การทดสอบผลของคลื่นขนาดต่าง ๆ ที่มีผลต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ และการนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบที่ดีที่สุดไปสร้างสมการสำหรับทำนายผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกและใต้น้ำที่ระดับความลึก 1 เซนติเมตร เมื่อมีคลื่นผิวน้ำความสูงเท่ากับ 0.3 0.5 และ 1 เซนติเมตร ในรูปที่ 2 โดยทำการวัดในช่วงเวลา 8.00 - 16.00 น. จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงที่ติดตั้งใต้น้ำมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับค่าของแผงที่ติดตั้งบนบกอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สำหรับแผงที่ติดตั้งใต้น้ำเมื่อมีความสูงของคลื่นต่าง ๆ พบว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ตกกระทบเมื่อคลื่นผิวน้ำมีความสูงเท่ากับ 0.3 เซนติเมตรจะมีค่าสูงที่สุด จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าลักษณะของคลื่นมีผลต่อการส่องผ่านและการสะท้อนของแสง เนื่องจากคลื่นผิวน้ำในแต่ละลูกคลื่นจะมีลักษณะคล้ายกับเลนส์เว้าและเลนส์นูน เมื่อแสงตกกระทบกับคลื่นที่มีลักษณะต่างกันในแต่ละช่วงเวลา มุมของแสงที่ตกกระทบกับคลื่นผิวน้ำจะมีการทะลุผ่านและสะท้อนของแสงออกไปต่างกันในแต่ละคลื่นที่เกิดจากอัตราการไหลต่างกัน จากการทดสอบพบว่าแสงที่ทะลุผ่านผิวน้ำ

ไปตกกระทบบริเวณหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการลดลงตามความสูงของคลื่นผิวน้ำ หลังจากการวิเคราะห์ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้น้ำพบว่าอัตราการส่องผ่านของแสงได้น้ำที่ขนาดความสูงของคลื่นเท่ากับ 0.3 0.5 และ 1 เซนติเมตร จะมีค่าเฉลี่ยตลอดวันอยู่ที่ 427.47 421.55 และ 401.76 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงบนบกพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 728.68 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยจะพบว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้น้ำจะมีความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลงประมาณร้อยละ 58.66 ซึ่งผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งวันดังรูปที่ 3



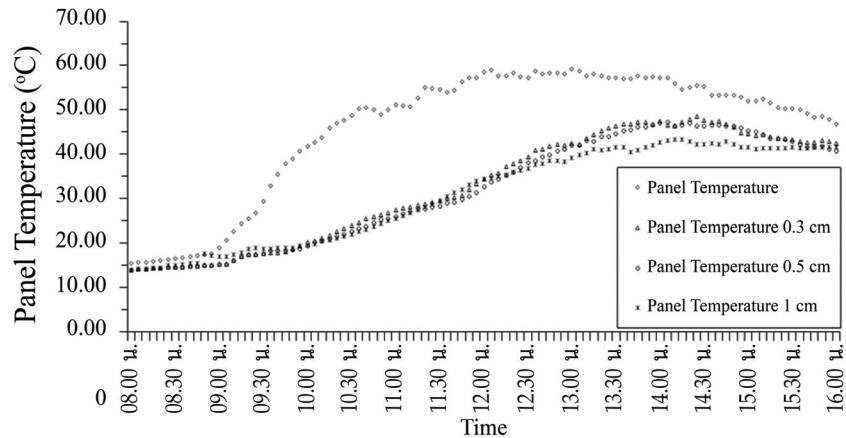
รูปที่ 2 ระดับความสูงของคลื่นผิวน้ำในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง



รูปที่ 3 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนบกและได้น้ำ

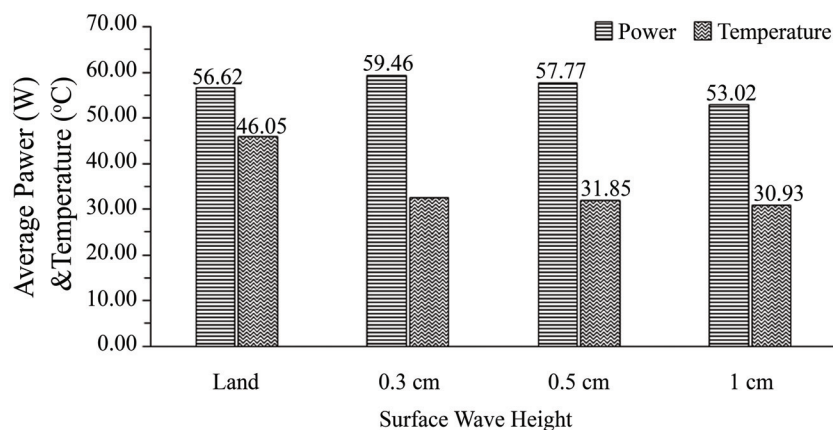
รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกและได้น้ำที่มีความสูงของคลื่น 0.3 0.5 และ 1 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจากรูปที่ 3 ที่แสดงให้เห็นถึงค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ตกกระทบบริเวณหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกเป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ยังไม่ถูกน้ำสะท้อน หรือดูดซับความยาวคลื่นแสงออกไป ส่งผลทำให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่ามากที่สุดในการทดลอง ซึ่งลักษณะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกจะเพิ่มขึ้นในลักษณะคล้ายกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบก ซึ่งอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นสูงสุดที่เวลาประมาณ 12.00 - 13.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นสูงสุดของวันในรูปที่ 3 หลังจากนั้นอุณหภูมิแผงจะลดลงอย่างช้า ๆ ตามค่ารังสีอาทิตย์ที่ลดลงไปเช่นเดียวกัน แตกต่างกับอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ที่ติดตั้งใต้น้ำที่ได้รับการดูดซับและสะท้อนคลื่นแสงออกไปบางส่วนทำให้อุณหภูมิของแผงมีค่าน้อยกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบก โดยอุณหภูมิแผงจะเพิ่มขึ้นในลักษณะคล้ายกับเส้นตรงจนสูงสุดที่เวลาประมาณ 14.00 - 14.30 น. หลังจากนั้นอุณหภูมิของแผงจะลดลง ซึ่งอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำที่ความสูงคลื่น 0.3 เซนติเมตร มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำที่ความสูงคลื่น 0.5 และ 1 เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องมาจากที่ความสูงคลื่น 0.3 เซนติเมตร แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่มากกว่าระดับความสูงคลื่นอีก 2 ระดับในการทดลอง สำหรับอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกและใต้น้ำตลอดทั้งวันในแต่ละเงื่อนไขจะแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกและใต้น้ำในแต่ละเงื่อนไข

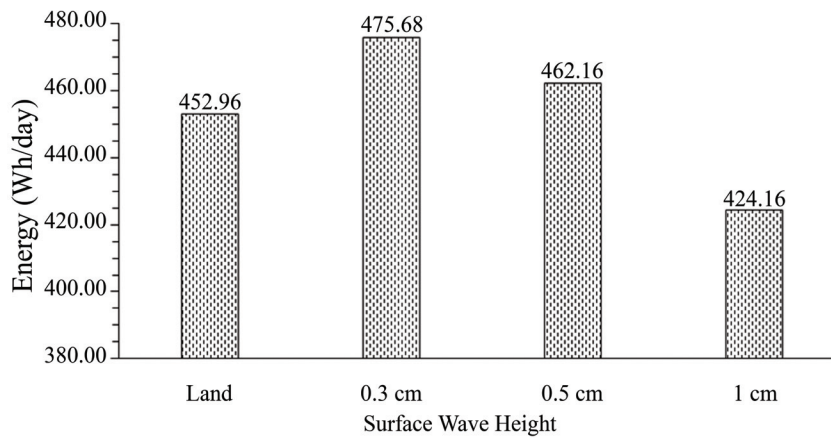
รูปที่ 5 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อติดตั้งตามเงื่อนไขต่าง ๆ จากรูปพบว่า กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกมีกำลังการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 56.62 วัตต์ และอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ 46.05 °C สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำระดับความลึก 1 เซนติเมตร จะมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 59.46 วัตต์ เมื่อขนาดของคลื่นเท่ากับ 0.3 เซนติเมตร กำลังเฉลี่ยนี้สูงกว่าของแผงที่ติดตั้งบนบกประมาณร้อยละ 5 และมีอุณหภูมิแผงเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับการติดตั้งบนบกประมาณ 13.5 °C



รูปที่ 5 กำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 6 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งตามเงื่อนไขต่าง ๆ จากการวิเคราะห์พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำที่ระดับความลึก 1 เซนติเมตร ที่ความสูงคลื่น 0.3 เซนติเมตร มากกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบก โดยที่

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้นำมีความสูงคลื่นผิวน้ำ 0.3 เซนติเมตร มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวันเท่ากับ 475.68 วัตต์ชั่วโมง ซึ่งมีความมากกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกที่สามารถผลิตได้ 452.96 วัตต์ชั่วโมง



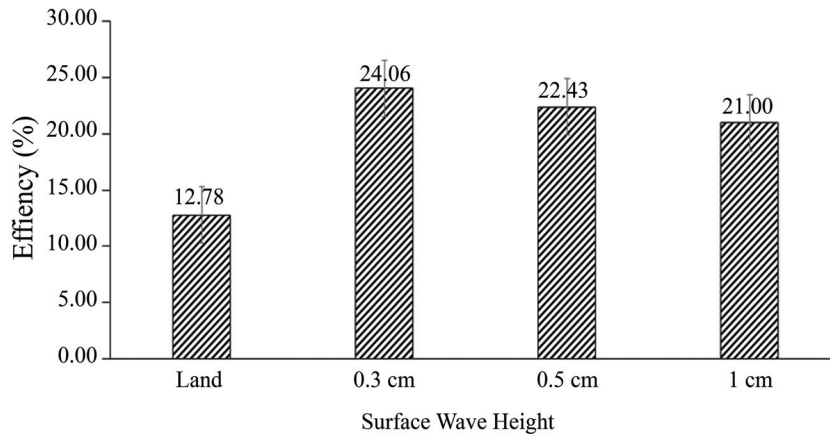
รูปที่ 6 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 7 แสดงค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งตามเงื่อนไขต่าง ๆ จากการคำนวณพบว่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้นำที่มีความสูงคลื่นผิวน้ำเท่ากับ 0.3 เซนติเมตร มีค่าสูงที่สุดโดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 24.06 เปอร์เซ็นต์ และมีความมากกว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกประมาณ 88 เปอร์เซ็นต์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เมื่อมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์มาตกกระทบบริเวณหน้าแผง โดยความยาวคลื่นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนต้องการในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะอยู่ในช่วงประมาณ 350 - 1,100 นาโนเมตร [14] และช่วงความยาวคลื่นอื่นที่น้อยกว่าหรือมากกว่าความยาวคลื่นดังกล่าวที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถนำไปผลิตไฟฟ้าได้แต่ละเปลี่ยนเป็นความร้อนซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นและทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง และส่งผลต่อปริมาณกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ซึ่งหลังจากการทดลองการศึกษาการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้นำพบว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้นำมีค่าสูงกว่าของแผงที่ติดตั้งบนบก นอกจากนั้นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงที่ติดตั้งได้นำมีค่าสูงกว่าของแผงที่ติดตั้งบนบก แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้บนบกเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่มีความจำเป็นและไม่มีความจำเป็นในการผลิตไฟฟ้า จึงทำให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นและทำให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานมีค่าลดลง ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้นำจะมีน้ำช่วยดูดซับและสะท้อนค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากผิวน้ำและคลื่นผิวน้ำก่อนตกกระทบหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงเป็นเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของแผงที่ติดตั้งได้นำสูงกว่าแผงที่ติดตั้งบนบก กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้นำมีค่าสูงกว่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบก

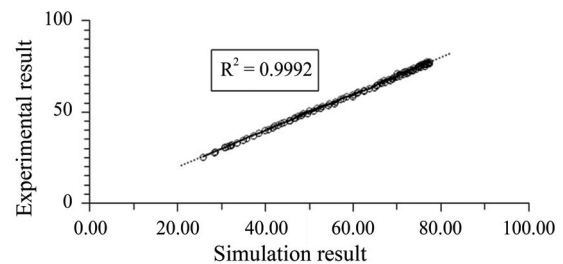
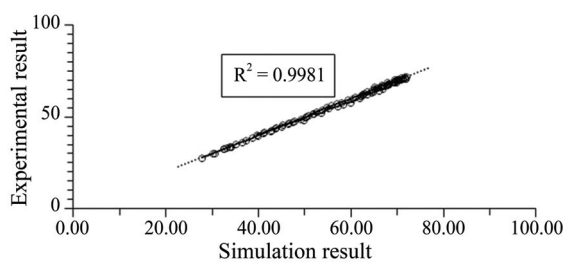
ในการทำนายการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รายปี ผู้วิจัยจะสร้างเงื่อนไขการทำนายโดยการกำหนดขนาดของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ที่ 1 เมกะวัตต์ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 100 วัตต์จำนวน 10,000 แผง และทำการทดลองในเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการทดลองส่วนที่ 1 ทำนายการผลิตไฟฟ้ารายปีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกในสมการที่(5)และทำนายการผลิตไฟฟ้ารายปีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้นำที่มีระดับความสูงของคลื่นผิวน้ำ 0.3 เซนติเมตร ได้ในสมการที่ (6) โดยที่ตัวแปรที่สำคัญในการทำนายได้กล่าวไว้ในวิธีการทดลอง

รูปที่ 8 แสดงผลที่ได้จากการใช้สมการทำนายเทียบกับผลการทดลองจริงเพื่อเป็นการทดสอบความถูกต้องของสมการทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นทั้งของแผงที่ติดตั้งบนบก และแผงที่ติดตั้งได้นำที่มีความลึก 1 เซนติเมตร

และมีคลื่นผิวน้ำความสูง 0.3 เซนติเมตร จากรูปพบว่าผลที่ได้จากสมการทำนายมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกอยู่ที่ 0.9981 และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำอยู่ที่ 0.9992 ทั้งนี้สมการที่ใช้ในการทำนายการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าวได้กำหนดเงื่อนไขในการใช้สมการให้แม่นยำมากขึ้นคือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในการคำนวณจะต้องมากกว่า 300 วัตต์ต่อตารางเมตร



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



(ก) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบก

(ข) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำ

รูปที่ 8 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจในการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองจริง ทำให้ผู้วิจัยตัดสินใจในการนำสมการดังกล่าวมาทำนายการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกและใต้น้ำที่กำลังการติดตั้งขนาด 1 เมกะวัตต์ ผลการทำนายพบว่าพลังงานไฟฟ้ารายเดือนที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำมีค่ามากกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใต้น้ำมีผลดีทางพลังงานไฟฟ้าดีกว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนบก พลังงานรวมที่ผลิตได้ตลอดปีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใต้น้ำมีค่า 1,732.27 เมกะวัตต์ ชั่วโมง และพลังงานที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกตลอดทั้งปีอยู่ที่ 1692.15 เมกะวัตต์ ชั่วโมง เมื่อทำการจำหน่ายไฟฟ้าจากการที่เป็นผลผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำในสัญญาแบบ Feed-in Tariff ที่รับซื้อไฟฟ้าในราคาหน่วยละ 5.66 บาท พบว่าในระยะเวลา 1 ปี จะมีรายได้จากการจำหน่ายปีละ 9,804,636.84 บาท/ปี ซึ่งมากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกที่มีรายได้ 9,577,577.10 บาท/ปี ผลต่างรายได้จากการผลิตไฟฟ้าทั้งสองแบบมีค่า 227,059.74 บาท/ปี รายละเอียดการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายเดือนดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายละเอียดการวิเคราะห์การผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี

เดือน	พลังงานไฟฟ้ารายปี	
	บนบก เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน	ใต้น้ำ เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน
มกราคม	143.04	146.38
กุมภาพันธ์	138.74	143.54
มีนาคม	155.91	161.74
เมษายน	153.69	159.34
พฤษภาคม	134.56	136.87
มิถุนายน	151.16	155.04
กรกฎาคม	151.78	156.13
สิงหาคม	149.68	153.72
กันยายน	138.13	141.07
ตุลาคม	120.04	119.75
พฤศจิกายน	119.62	120.43
ธันวาคม	135.80	138.26
รวม	1692.15 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี	1732.27 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี
รายได้จากการจำหน่ายไฟ	9,577,577.10 บาท	9,804,636.84 บาท

สรุปผลและอภิปรายผล

จากการศึกษาคลื่นผิวน้ำที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใต้น้ำที่ระดับความลึก 1 เซนติเมตร พบว่าคลื่นที่มีความสูง 0.3 เซนติเมตร มีส่วนช่วยในการผลิตไฟฟ้าให้มากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบก โดยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งใต้น้ำภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวมีผลผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย 59.46 วัตต์ ซึ่งมากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกที่ผลิตได้เพียง 56.62 วัตต์ และเมื่อนำผลการทดลองที่ได้จากการทดลองส่วนแรก ไปทำการทำนายการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปีจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำมากกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนบกมีค่า 1,732.27 เมกะวัตต์ชั่วโมง และพลังงานที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกตลอดทั้งปีอยู่ที่ 1692.15 เมกะวัตต์ชั่วโมง เมื่อทำการจำหน่ายไฟฟ้าจากการที่เป็นผลผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำในสัญญาแบบ Feed-in Tariff ที่รับซื้อไฟฟ้าในราคาหน่วยละ 5.66 บาท พบว่าในระยะเวลา 1 ปีจะมีรายได้จากการจำหน่ายปีละ 9,804,636.84 บาท/ปี ซึ่งมากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนบกที่มีรายได้ 9,577,577.10 บาท/ปี ผลต่างรายได้จากการผลิตไฟฟ้าทั้งสองแบบมีค่า 227,059.74 บาท/ปี

ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

เนื่องจากในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยระดับเล็กจึงไม่มีเครื่องมือในการวิเคราะห์การสะท้อนของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ทำได้เพียงอ้างอิงงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการสะท้อนของแสงและความยาวคลื่นแสงเพียงเท่านั้นทั้งนี้งานวิจัยแนวอาจเป็นแนวทางในการต่อยอดความคิดที่จะสร้างงานวิจัยอื่น รวมไปถึงต้นทุนในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ใต้น้ำขนาดใหญ่ ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นเพียงต้นแบบทางความคิดที่จะนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดตั้งใต้น้ำเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดขึ้นกับการผลิตไฟฟ้า จึงไม่อาจประเมินต้นทุนในการติดตั้ง

โรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ได้ และในส่วนของระยะเวลาในการใช้งานยังไม่สามารถประเมินได้เนื่องจากยังเป็นงานวิจัยที่ค่อนข้างใหม่และระยะเวลาในการทำการทดลองไม่เพียงพอ

สำหรับปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผู้วิจัยไม่นำมาวิเคราะห์เนื่องจากเกินวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัยนี้ และอาจส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้น้ำ ได้แก่ ความขุ่นของน้ำในสภาวะแวดล้อมจริง และสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวจำพวกสาหร่ายที่อาจเกิดขึ้นบริเวณหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์หากติดตั้งใต้น้ำเป็นเวลานาน ซึ่งอาจส่งผลต่อการรับแสงและการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในการสนับสนุนทุนและค่าใช้จ่ายในการศึกษา และขอขอบคุณ “ทุนเรียนดี” ในโครงการทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ รวมทั้งขอขอบคุณหน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ (SEEU) ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในทุกด้าน

References

- [1] Wang, M. -H. and Chen, M. -J. (2012). Two-Stage Fault Diagnosis Method Based on the Extension Theory for PV Power Systems. **International Journal of Photoenergy**. Vol. 2012, DOI: 10.1155/2012/892690
- [2] Nižetić, S., Čoko, D., Yadav, A., and Grubišić-Čabo, F. (2016). Water Spray Cooling Technique Applied on a Photovoltaic Panel: the Performance Response. **Energy Conversion and Management**. Vol. 108, pp. 287-296. DOI: 10.1016/j.enconman.2015.10.079
- [3] Moharram, K. A., Abd-Elhady, M. S., Kandil, H. A., and El-Sherif, H. (2013). Enhancing the Performance of Photovoltaic Panels by Water Cooling. **Ain Shams Engineering Journal**. Vol. 4, Issue 4, pp. 869-877. DOI: 10.1016/j.asej.2013.03.005
- [4] Abdo, S., Saidani-Scott, H., Borges, B., and Abdelrahman, M. A. (2020). Cooling Solar Panels Using Saturated Activated Alumina with Aaline Water: Experimental Study. **Solar Energy**. Vol. 208, pp. 345-356. DOI: 10.1016/j.solener.2020.07.079
- [5] Ajitha, A., Kumar, N. M., Jiang, X. X., Reddy, G. R., Jayakumar, A., Praveen, K., and Anil Kumar, T. (2019). Underwater Performance of Thin-Film Photovoltaic Module Immersed in Shallow and Deep Waters Along with Possible Applications. **Results in Physics**. Vol. 15, p. 102768. DOI: 10.1016/j.rinp.2019.102768
- [6] Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P., Tina, G. M., and Scandura, P. F. (2010). Submerged Photovoltaic Solar Panel: SP2. **Renewable Energy**. Vol. 35, Issue 8, pp. 1862-1865. DOI: 10.1016/j.renene.2009.10.023
- [7] Pelikán P. and Koutný L. (2016). Hindcast of Wind Driven Wave Heights in Water Reservoirs. **Soil & Water Res.** Vol. 11, pp. 205-211. DOI: 10.17221/105/2015-SWR
- [8] Fauzi, R. and Wiryanto, L. (2020). The Effects of Wind on the Generation of Surface Wave in a Shallow Water. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. Vol. 618, p. 012003. DOI: 10.1088/1755-1315/618/1/012003

- [9] TDETLab. (2019). **Mathematical Modeling Program for Solar Hot Water Production System**. Access (10 December 2021). Available (<http://www.tdetlab.com/publication>)
- [10] Northern Meteorological Center. (2018). **Chiang Mai Climate Statistics**. Access (10 December 2021). Available (<http://www.cmmet.tmd.go.th>)
- [11] Chaichana, C., Kiatsiriroat, T., and Nuntaphan, A. (2010). Comparison of Conventional Flat-Plate Solar Collector and Solar Boosted Heat Pump Using Unglazed Collector for Hot Water Production in Small Slaughterhouse. **Heat Transfer Engineering**. Vol. 31, Issue 5, pp. 419-429. DOI: 10.1080/01457630903375475
- [12] Hao, D., Qi, L., Tairab, A. M., Ahmed, A., Azam, A., Luo, D., Pan, Y., Zhang, Z., and Yan, J. (2022). Solar Energy Harvesting Technologies for PV Self-Powered Applications: A Comprehensive Review. **Renewable Energy**. Vol. 188, pp. 678-697. DOI: 10.1016/j.renene.2022.02.066
- [13] Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P., Tina, G. M., and Scandura, P. F. (2010). Submerged Photovoltaic Solar Panel: SP2. **Renewable Energy**. Vol. 35, Issue 8, pp. 1862-1865. DOI: 10.1016/j.renene.2009.10.023
- [14] Zanatta, A. R. (2022). The *Shockley-Queisser* Limit and the Conversion Efficiency of Silicon-Based Solar Cells. **Results in Optics**. Vol. 9, p. 100320. DOI: 10.1016/j.rio.2022.100320